

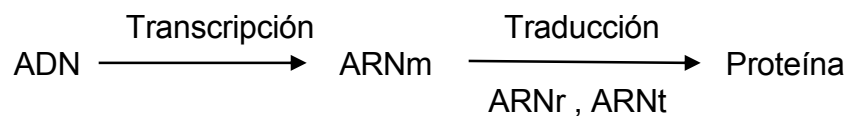
# TEMA 5. LOS ACIDOS NUCLEICOS.

## 1. Introducción.

Son biomoléculas compuestas por C, H, O, N y P y con peso molecular muy elevado ( $10^6 - 10^9$ ). También se definen como polímeros formados por la unión de subunidades llamadas nucleótidos y según su composición se distinguen dos tipos: el ADN y el ARN.

En todos los seres vivos coexisten ambos tipos. Los virus, en cambio, poseen sólo uno. El ADN es el portador de los caracteres hereditarios, almacena la información genética de los organismos y regula la actividad celular. Las funciones de los distintos tipos de ARN están relacionadas con la expresión de la información genética pues todos intervienen en la síntesis de proteínas.

Los genes son secuencias de nucleótidos de ADN que determinan qué tipos de proteínas elaborarán las células. Este proceso se inicia con la síntesis del ARNm, que copia las instrucciones del ADN en un proceso llamado transcripción, y concluye con la formación de la proteína en los ribosomas mediante la traducción.



En las células eucariotas la mayor parte del ADN se encuentra en el núcleo pero también lo encontramos en mitocondrias y cloroplastos. El ARN se encuentra principalmente en el citoplasma aunque también aparece en el núcleo, donde se sintetiza, en mitocondrias y en cloroplastos.

En células procariotas tanto el ADN como el ARN se encuentran en el protoplasma celular.

## 2. Los nucleótidos.

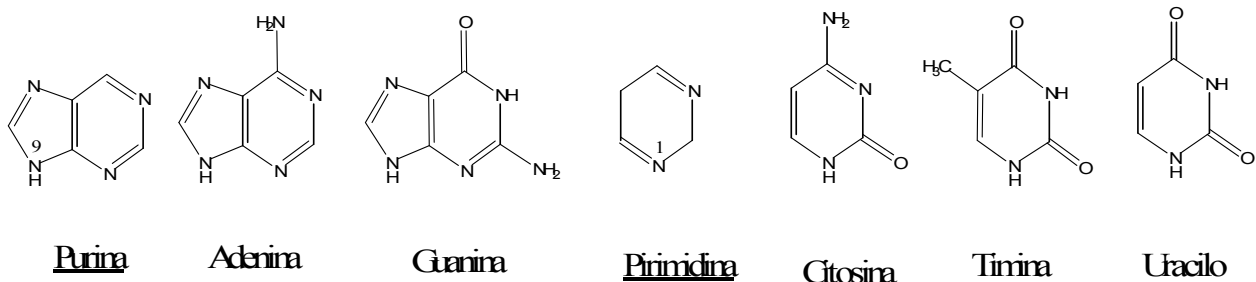
Son los monómeros estructurales de los ácidos nucleicos y están formados por una pentosa, una base nitrogenada y un ácido fosfórico.

La pentosa puede ser la  $\beta$ -D-ribofuranosa o su derivada la  $\beta$ -D-2'-desoxirribofuranosa. Ambas poseen estructura cíclica y se forman por un enlace hemiacetal intramolecular.

### Fórmulas.

Las bases nitrogenadas son compuestos heterocíclicos que contienen carbono y nitrógeno y pueden ser de dos tipos:

- Púricas. Derivadas de la purina. Son adenina (A) y guanina (G).
- Pirimidínicas. Derivadas de la pirimidina. Son citosina (C), timina (T) y uracilo (U).

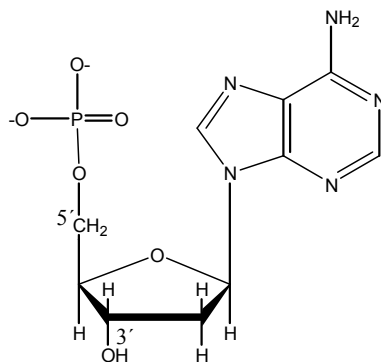


El ácido fosfórico,  $H_3PO_4$  es un compuesto inorgánico y aparece como ión fosfato,  $PO_4^{3-}$ .

La unión entre la pentosa y la base nitrogenada tiene lugar mediante un enlace N-glucosídico que libera una molécula de agua y forma un compuesto llamado nucleósido. Tal unión se lleva a cabo entre el C 1' de la pentosa y el N que ocupa la posición 1 en las bases pirimidínicas o la 9 en las púricas.

### Ejemplos.

Los nucleótidos se forman cuando se esterifica el  $-OH$  de la posición 5' de la pentosa de un nucleósido con el ácido fosfórico, desprendiéndose otra molécula de agua.



Indica el nombre de esta molécula.

En el ADN la pentosa es desoxirribosa y no hay uracilo. En el ARN la pentosa es ribosa y no hay timina. Existen por tanto dos tipos de nucleótidos: ribonucleótidos y desoxirribonucleótidos.

Para unirse dos nucleótidos entre sí lo hacen mediante un enlace fosfodiéster y el fosfato de uno de ellos se une al  $-OH$  del carbono en posición 3' del siguiente. Así se forman cadenas de nucleótidos en la que se diferencian dos extremos 5' con fosfato libre y 3' con grupo hidroxilo.

Ejercicio: Formación de un dinucleótido.

A veces un nucleótido puede unirse a más de un grupo fosfato, así ocurre en los de transferencia energética como el ATP, o a un mismo fosfato mediante dos uniones, tal es el caso del AMPc.

Los nucleósidos y sus nucleótidos correspondientes se nombran como a parece a continuación.

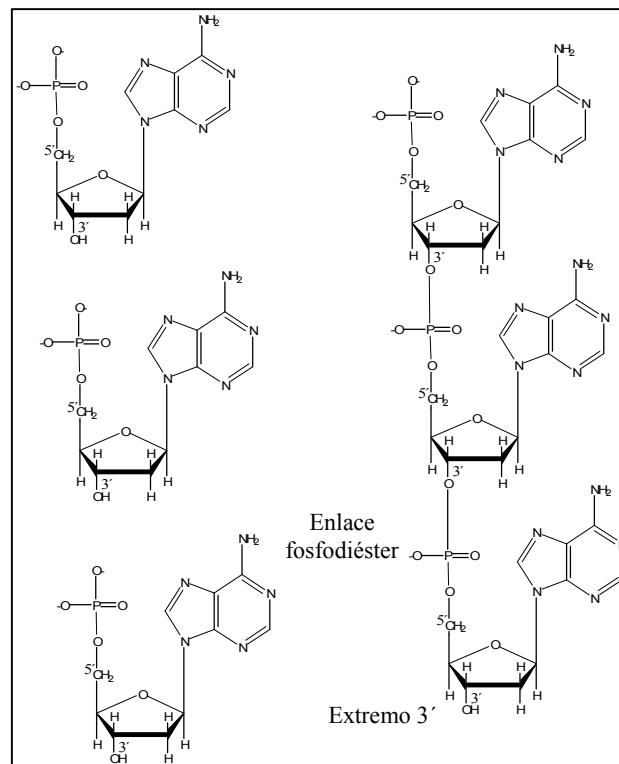
## Nucleósidos

Adenosina  
Desoxiadenosina  
Guanosina  
Desoxiguanosina  
Citidina  
Desoxicitidina  
Desoxitimidina  
Uridina

## Nucleótidos

Adenosín monofosfato (AMP)  
Desoxiadenosín monofosfato (dAMP)  
Guanosín monofosfato (GMP)  
Desoxiguanosín monofosfato (dGMP)  
Citidín monofosfato (CMP)  
Desoxicitidín monofosfato (dCMP)  
Desoxitimidín monofosfato (dTMP)  
Uridín monofosfato (UMP)

Base nitrogenada + Pentosa = Nucleósido  
Nucleósido + Fosfato = Nucleótido



Además existen nucleótidos de gran importancia biológica que no forman parte de los ácidos nucleicos, como:

- El sistema **ATP/ADP**, núcleo esencial en las transferencias energéticas en las células.
- El **NADH, NADPH y el FAD**, coenzimas formados por moléculas derivadas de nucleótidos, esenciales en los procesos catabólicos y anabólicos por intervenir en reacciones de oxido-reducción. Pueden encontrarse en forma oxidada ( $\text{NAD}^+$ ,  $\text{NADP}^+$  y  $\text{FAD}$ ) o reducida ( $\text{NADH}$ ,  $\text{NADPH}$  y  $\text{FADH}_2$ ).
- El **AMP cíclico**, mensajero químico que transmite las instrucciones de las hormonas que interaccionan con la membrana plasmática hasta el citoplasma y el núcleo.

### 3. El ADN.

Está formado por la polimerización de desoxirribonucleótidos 5' monofosfato de A, G, C y T. Es una molécula lineal y bicatenaria que posee distintos niveles de complejidad: estructura primaria, estructura secundaria y una vez asociado a proteínas nucleares y adoptando cierto grado de empaquetamiento, estructura terciaria.

La estructura primaria está constituida por una sola cadena de nucleótidos unidos entre sí por enlaces fosfodiéster. Tal cadena presenta un extremo 5' unido a un fosfato y un extremo 3' unido a un grupo hidroxilo. La diferencia entre dos cadenas está en el número, tipos y disposición de los nucleótidos que la forman, es decir en la secuencia de sus bases nitrogenadas.

Ejemplos de secuencias.

#### 3.1. La doble hélice.

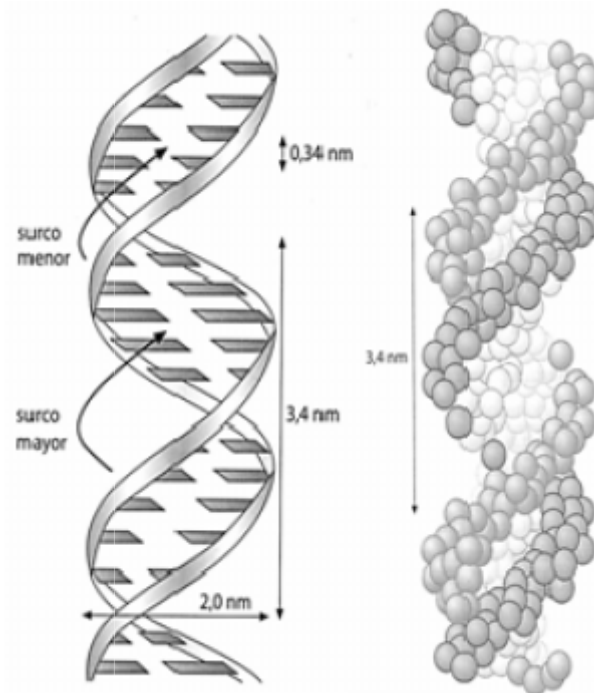
La estructura secundaria del ADN fue determinada en 1953 por Watson y Crick. Estos científicos utilizaron los datos aportados por otros investigadores:

- Franklin y Wilkins. Mediante difracción de rayos-X en fibras de ADN determinaron que la molécula de ADN era larga y rígida y que había estructuras que se repetían cada 0,34 y 3,4 nm.
- Chargaff. Mediante análisis químico determinó que en una misma especie:
  1. El contenido en bases púricas es igual al de bases pirimidínicas.
  2. La proporción de adenina es igual a la de timina.
  3. La proporción de guanina es igual a la de citosina.

Propusieron un modelo compatible con estos datos y que permitía comprender el mecanismo de transmisión de la información genética. Sus características son las siguientes:

- El ADN se forma de dos cadenas enrolladas alrededor de un eje imaginario formando una doble hélice.
- La hélice es dextrógira y tiene 2 nm de espesor.
- Las bases nitrogenadas se disponen hacia el interior de la hélice siendo sus planos paralelos entre sí y perpendiculares al eje (como en una escalera de caracol).
- Las cadenas son complementarias y las bases de ambas se disponen enfrentadas, manteniéndose unidas mediante puentes de hidrógeno. Tal complementariedad sólo es posible entre A y T, que forman dos enlaces de hidrógeno entre sí, y entre G y C que forma tres de estos enlaces.
- Las cadenas son antiparalelas, es decir sus extremos son opuestos, si una comienza por el extremo 5', a otra lo hará por el 3'.
- En cada vuelta de hélice hay diez pares de nucleótidos y su longitud es de 3,4 nm distinguiéndose un surco mayor y un surco menor

- Cada pareja de nucleótidos está a 0,34 nm de la siguiente.



### 3.2. Los niveles de condensación.

Tanto en el citoplasma de las células procariotas como en el núcleo de las eucariotas se plantea el mismo problema: ¿cómo almacenar grandes cantidades de ADN en un volumen reducido permitiendo que la información que contiene sea accesible?

Para solucionar esto el ADN adopta distintos grados de empaquetamiento en las distintas fases del ciclo celular.

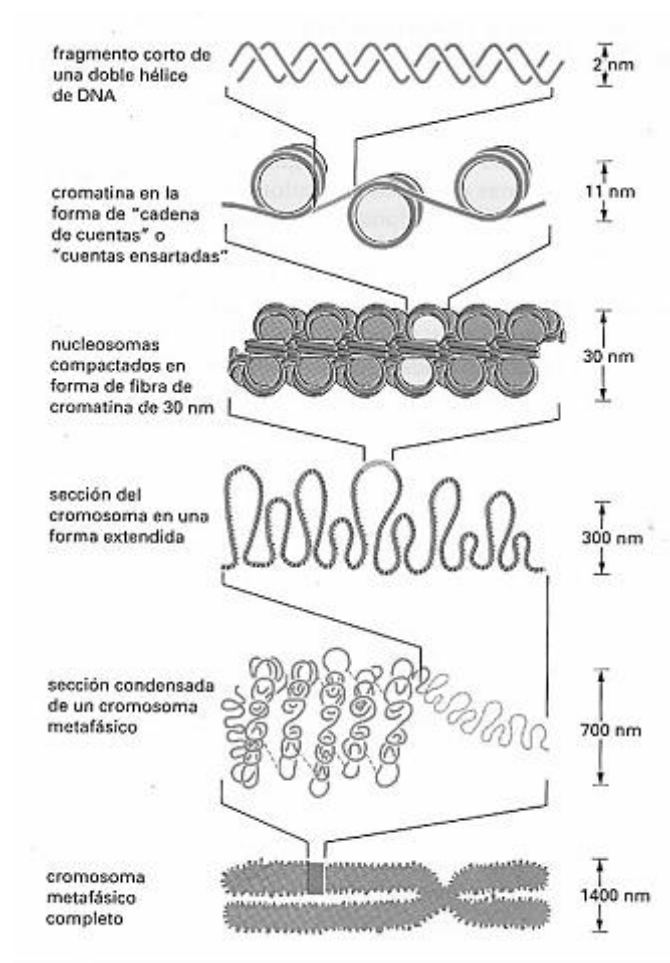
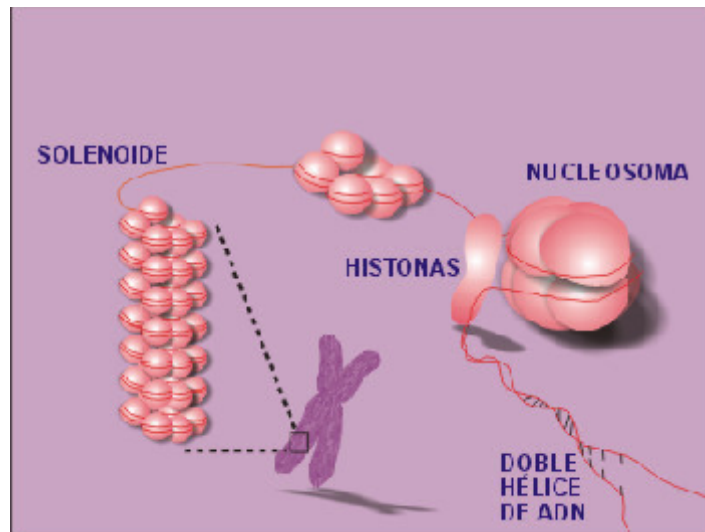
En procariotas, mitocondrias y cloroplastos el ADN se asocia a un pequeño número de proteínas que mantienen su empaquetamiento en la región del nucleóide.

En eucariotas resulta más complejo pues se ha de incluir más de un metro de ADN en un núcleo de apenas 10  $\mu\text{m}$  de diámetro. La compactación es la siguiente:

- El ADN posee carga negativa y se asocia con proteínas de carga positiva llamadas histonas formando nucleosomas. Un nucleosoma está formado por ocho moléculas de cuatro tipos distintos de histonas, que forman un octámero (2 H2a, 2 H2b, 2 H3 y 2 H4), y un fragmento de doble hélice que da 1,75 vueltas alrededor de este. Entre dos nucleosomas hay un fragmento de ADN llamado linker o ligador. Esta estructura se conoce como collar de perlas o fibra de 10 nm.
- En las fibras de cromatina el collar de perlas se dispone helicoidalmente

formando una estructura más empaquetada llamada solenoide o fibra de 30 nm. Su empaquetamiento es 40 veces superior al de la doble hélice.

- Esta fibra se pliega formando bucles o asas radiales de 70 nm las cuales a su vez forman rosetones y espirales que generan las cromátidas de los cromosomas. La compactación es ahora 10.000 veces mayor que en la fibra de ADN desnudo.



### 3.3. La desnaturalización del ADN.

La estabilidad de la doble hélice se debe a los puentes de hidrógeno que mantienen las dos cadenas. Si la temperatura aumenta (70-90 °C) y alcanza un valor llamado punto de fusión del ADN, se produce una agitación térmica en la molécula capaz de separar las dos hebras rompiendo los puentes de hidrógeno pero no los enlaces fosfodiéster.

Este proceso se denomina desnaturalización y es un fenómeno reversible, ya que si se deja enfriar lentamente la disolución, el ADN recupera su forma inicial de doble hélice (renaturalización).

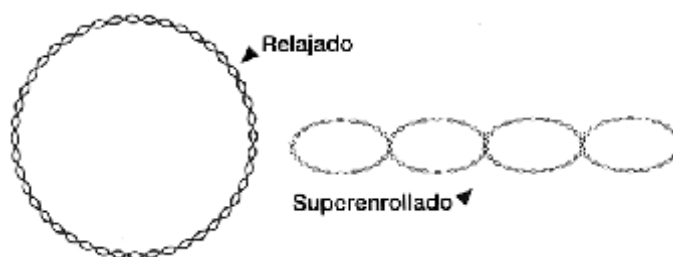
Esta capacidad de poder separar las dos cadenas del ADN es lo que permite realizar pruebas de hibridación entre moléculas de ADN diferentes, aplicación muy importante para establecer el grado de parentesco entre especies o para identificar judicialmente a una persona.

Si se produce un enfriamiento rápido no se produce la renaturalización del ADN ya que las dos cadenas se pliegan independientemente, con segmentos duplohelicoidales intracatenarios.

La desnaturalización también se produce al someter el ADN a pH extremos o a la acción de determinados agentes químicos, como la urea.

### 3. 4. Otros tipos de ADN.

El ADN bacteriano es circular y se forma por una sola molécula bicatenaria superenrollada sobre sí misma. Además pueden tener plásmidos con información genética adicional.



En las mitocondrias y en los cloroplastos hay de 4 a 80 copias de una molécula de ADN bicatenario cerrado similar al ADN bacteriano.

Los virus son los únicos “organismos” que no poseen los dos tipos de ácidos nucleicos (tienen ADN o ARN, pero no los dos). Su ADN puede ser monocatenario lineal, monocatenario cerrado, bicatenario lineal o bicatenario cerrado.

Recordemos que los virus no pueden ser considerados seres vivos pues no se forman de células y no pueden realizar por sí mismos las funciones vitales. Nos cuestionamos por tanto designarlos como organismos y empleamos mejor el término partículas infectivas.



## 4. El ARN.

El ácido ribonucleico es un polinucleótido formado por ribonucleótidos de adenina, guanina, citosina y uracilo unidos por enlaces fosfodiéster.

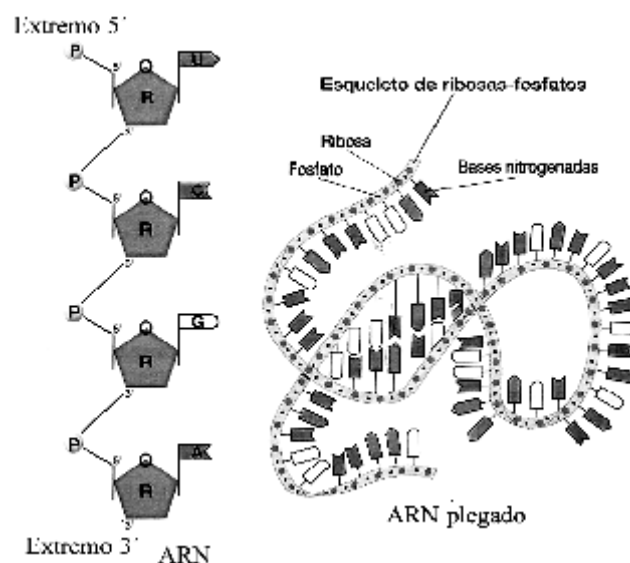
Excepto en el caso de algunos virus, las moléculas de ARN son monocatenarias, pero pueden poseer zonas con estructuras de doble hélice, que forman lazos o bucles, como consecuencia del apareamiento de bases complementarias de la misma cadena.

Las moléculas de ARN se forman, tomando como molde y por complementariedad de bases una cadena de ADN, mediante un proceso llamado transcripción.

Algunas moléculas de ARN, conocidas con el nombre de ribozimas, tienen propiedades catalíticas así ocurre con algunas moléculas de ARNr que tienen capacidad para formar nuevos enlaces peptídicos. Las ribozimas son pues moléculas de ARN que pueden almacenar información y catalizar reacciones químicas específicas.

Una molécula capaz de catalizar su propia síntesis debió de jugar un papel fundamental en los orígenes de la vida. Las primeras células debieron tener ARN como material genético. El ADN aparecería más tarde y dada su mayor estabilidad para almacenar cantidades mayores de información fue seleccionado para desempeñar la función genética principal.

Las funciones que actualmente todos los tipos de ARN desempeñan en las células están directamente relacionadas con la expresión de la información genética.



### 4.1.El ARN mensajero. ARNm.

Representa del 3 al 10% del total de ARN de la célula. Pm 200.000 (unos 5.000 nucleótidos).

Forma cadenas cortas y lineales. Se sintetiza a partir del ADN, siendo su secuencia de bases complementaria a la de un fragmento de una de las hebras



de ADN, y posteriormente se dirige a los ribosomas para proporcionar la información necesaria para la síntesis proteica. Una célula produce tantos ARNm diferentes como proteínas necesita fabricar.

Su vida media es muy corta: algunos minutos en las células procariotas, y entre unas pocas horas y algunos días en las eucariotas, degradándose tras ser utilizado.

En eucariotas el ARNm es modificado antes de salir del núcleo en un proceso llamado maduración en el cuál ocurre lo siguiente:

- Adición en el extremo 5' una especie de "caperuza" formada por un residuo de metil-guanosina unida al grupo trifosfato (metil GTP).
- Síntesis en el extremo 3' de una "cola" formada por un fragmento de unos 200 nucleótidos de adenina denominada poli A.
- Eliminación de intrones o secuencias que no contienen información para la síntesis proteica. En los genes de eucariotas la información genética aparece fragmentada, con secuencias informativas o exones y secuencias intercaladas que no contienen información válida o intrones.

#### 4.2. El ARN ribosómico. ARNr.

Representa el 75-80 % del total de ARN celular. Pm comprendido entre 500.000 y 1.700.000.

Forma los ribosomas, en los que aparecen moléculas de ARNr de diferentes tamaños caracterizadas por sus coeficientes de sedimentación. La cadena adopta una estructura tridimensional compleja con zonas en doble hélice.

#### 4.3 El ARN transferente. ARNt.

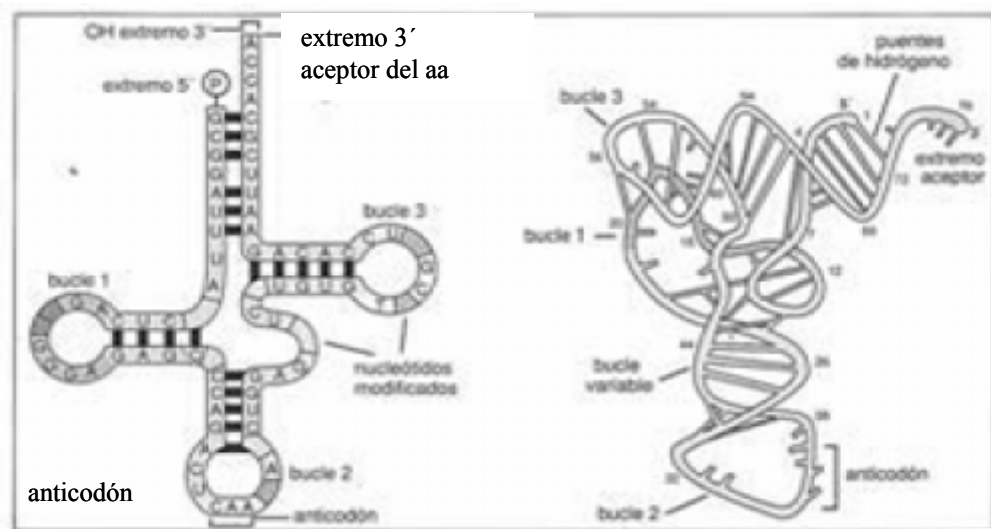
Representa un 15% del total del ARN celular. Pm de 25.000, con 73-93 nucleótidos.

La única hebra de que consta su molécula presenta zonas con estructura secundaria, gracias a los enlaces por puentes de hidrógeno entre bases complementarias, lo que da lugar a una serie de brazos y bucles o asas.

Las moléculas de ARNt poseen características estructurales bien definidas, que le permiten unirse a los ribosomas e interactuar con la enzima que cataliza la formación del enlace peptídico. Entre estas características destacan:

- Las moléculas de ARNt poseen una estructura con brazos en forma de trébol que se pliega en el espacio a modo de L, debido al alto grado de apareamiento intracatenario mediante puentes de hidrógeno (60-70% de doble hélice).
- La secuencia de bases del extremo 3' es siempre CCA y el aminoácido transportado se une al grupo -OH 3' de la adenosina terminal mediante su grupo carboxilo.
- En uno de los brazos se sitúa el anticodón o triplete de bases complementario del codón del ARNm. Dado que un ARNt queda definido por su anticodón (triplete de bases), existen 64 ARNt distintos. Como

sólo hay 20 aminoácidos, resulta que un mismo aminoácido puede ser llevado por dos (y de hecho hasta por 6) ARNt diferentes, pero nunca un mismo ARNt puede unirse a dos aminoácidos diferentes.

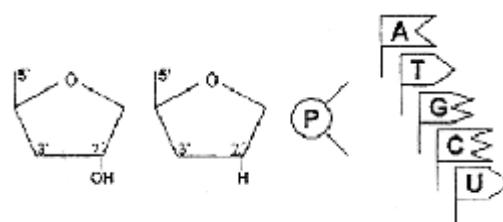


#### 4.4. ARN nucleolar. ARNr.

Se encuentra unido a diferentes proteínas formando el nucléolo. Se origina a partir de ciertos segmentos de ADN denominados región organizadora nucleolar. Una vez formado se fragmenta y da origen a los distintos tipos de ARNr.

### Cuestiones de repaso.

1. En relación a los ácidos nucleicos, indica: ¿Cuáles son los componentes de los nucleótidos? ¿Cuáles son las bases nitrogenadas derivadas de la purina? ¿Y las derivadas de la pirimidina? ¿Qué bases nitrogenadas existen en el DNA? ¿Y en el RNA? ¿Qué tipos de enlaces soportan la estructura de los ácidos nucleicos?
2. Describe las funciones de los nucleótidos y cita un ejemplo de nucleótido que participa en cada una de ellas.
3. Usando los símbolos adjuntos representa una cadena de ADN que tenga la secuencia 5'-ATCGAC- 3'. Dibuja también la molécula de ARN con secuencia complementaria a la molécula de ADN anterior.



4. El análisis del ácido nucleico de un virus ha dado los siguientes resultados: A 24%, G 31%, T 33% y C 12%. ¿Qué tipo de conclusiones se pueden obtener acerca del ácido nucleico del virus? Razona la respuesta.

5. Indica que molécula está representada en el esquema y cita sus componentes. Indica cuáles son los monómeros que la forman y cuales los enlaces que se establecen entre ellos. ¿Qué otras moléculas presentan componentes similares? Explica la función biológica y la estructura secundaria de dicha molécula.



6. Explica las funciones de los diferentes tipos de RNA que participan en la síntesis de proteínas.

7. Indicar las diferencias entre ADN y ARN:

	ADN	ARN
Bases nitrogenadas		
Pentosa		
Estructura		
Localización		
Funciones		

8. ¿Cómo se mantienen unidas las dos cadenas que forman la molécula de ADN?

9. Indica si, para una molécula de ADN bicatenaria, las siguientes afirmaciones son verdaderas o falsas:

- a)  $A + G = C + T$ .
- b)  $A + T = C + G$ .
- c)  $A + C = G + T$ .

10. Dada la siguiente secuencia en una cadena de ADN ...GGTACACA... Determinar la secuencia de la cadena complementaria.

11. Se quiere realizar un proceso de hibridación entre dos cadenas de ácido nucleico. Razona entre qué tipo de cadenas sería posible: ADN-ADN, ARN-ARN, ADN-ARN.

12. ¿Qué tipo de bases nitrogenadas es más abundante en un ADN bicatenario, las bases púricas o las pirimidínicas? ¿Y en un ADN

monocatenario? Razona la respuesta.

**13.** ¿En qué consiste la desnaturalización del ADN? ¿Qué enlaces se ven implicados en dicho proceso? ¿A qué se llama temperatura de fusión? ¿De qué depende esta temperatura?

**14.** ¿Pueden existir en un ARN monocatenario regiones con doble hélice? Razona la respuesta.

**15.** El ADN de una determinada especie contiene un 18% de C. Calcular su contenido en T, G y A.

**16.** El ADN de ratón contiene un 44% de C+G, y el humano un 40%. ¿Cuál se desnaturaliza con mayor facilidad? ¿Por qué?

**17.** El contenido en ADN de las células de un roedor (en pg por célula) es: células renales 2,45; hepatocitos 2,41; células cardíacas 2,47; células espermáticas 1,22; células de páncreas 2,43. Analiza estos datos y justifícalos.

**18.** ¿Qué función realiza el ARNt? ¿Cuáles son las características comunes a todos los ARNt?

**19.** El material genético de los virus puede ser ADN (de cadena sencilla o doble) o ARN (de cadena sencilla o doble). En la tabla siguiente se indica la composición de bases de cuatro virus. Determina en cada caso si el virus contiene ADN o ARN y si el ácido nucleico es de cadena sencilla o de cadena doble.

	Adenina	Guanina	Citosina	Timina	Uracilo
Virus 1	25%	24%	18%	33%	0%
Virus 2	28%	22%	22%	0%	28%
Virus 3	31%	19%	19%	31%	0%
Virus 4	22%	19%	26%	0%	33%

**20.** Formula: Desoxirribonucleótido 5' monofosfato de timina

Ribonucleótido 5' monofosfato de guanina

Adenosín trifosfato (ATP)

AMPc (Adenosín monofosfato cíclico)

**21.** Explica cómo se forma la fibra en collar de perlas del ADN.

**22.** ¿Qué nivel de empaquetamiento posee la cromatina? ¿Qué otros niveles se estructuran hasta formar los cromosomas?

Anaya Biología 2º Bto. Pag 87. 3. Pag 89. 1. Pag 98, 99 y 100 completas (PS).